

A Comparative Study on Land-Use System Simulation Model

Huaqing Mao¹, Li Zhu¹, Ming Huang²

Department of Information Science & Technology Ou Jiang College Wen Zhou University, Wen Zhou, China, 325027

Spatial Information & Digital Engineer Research Center of Wuhan University, Wuhan, China, 430079

mr.maohuaqing@yahoo.com, yeah_1397118@hotmail.com, myitalian@163.com

Abstract: Driving factors and driving mechanism of land-use are changed by time dynamically. At present, most of the land-use system simulation models assume that driving factors and driving mechanism are fixed during the simulation processes. In this paper, current land-use system simulation models are introduced, the Advantages and disadvantages of those models are analyzed, and the improvement scheme based on dynamic driving mechanism is proposed. Finally, the research directions and summary in this area are also discussed.

Keywords: Land-use system; Driving factor; Dynamic simulation model

土地系统模拟模型对比研究

毛华庆¹, 朱丽¹, 黄明²

温州大学瓯江学院信息系, 温州, 中国, 325027

武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉, 中国, 430079

mr.maohuaqing@yahoo.com, yeah_1397118@hotmail.com, myitalian@163.com

摘要: 土地利用的变化驱动因子和驱动机制是随时间动态变化的。当前, 大多数土地系统模拟模型假设土地利用变化的驱动因子以及驱动机制在整个模拟过程中不变。本文在介绍了当前土地系统模拟模型现状的基础上, 分析了各种模型的优缺点, 并提出了基于动态驱动机制的土地系统模拟模型的改进方案, 最后对全文进行总结并指出进一步的研究方向。

关键字: 土地系统, 驱动因子, 动态模拟模型

1 引言

二十世纪以来, 全球环境以前所未有的速度发生变化, 一系列全球性重大环境问题对人类的生存和发展构成严重威胁, 全球变化科学成为研究的热点^[1, 2]。土地利用/覆被变化(Land use-cover change, LUCC)是全球环境变化的重要组成部分和主要原因之一, 土地系统变化的动力学与土地系统变化的生态系统效应是当前全球变化研究的核心领域。

作为认识土地系统变化过程和机理的一个重要切入点, 土地系统动态模拟模型有利于提高人类对土地系统演化与效应的认识, 并增进对陆地系统中人地耦合关系变化规律的理解, 同时也为人们分析区域尺度物质和能量流动的过程和机制, 研究区域乃至全球经济活动在局地 and 区域尺度对土地系统的影响提供了重要的途径。建立并应用土地系统动态模拟模型为开展区域用地结

构变化情景分析、阐明土地系统变化机制、探索并揭示土地系统结构演替规律提供了一条有效途径^[3]。土地系统动态模拟需要从系统的角度识别区域用地结构变化的各种影响因素及其作用, 选择合适的模型工具, 将区域用地结构变化反映到一定尺度的空间单元上^[4-6]。目前, 通过引入经济模型和经验统计方法进行土地系统结构变化驱动力分析已经取得了一些成果^[7-10]; 通过综合考虑转换规则与土地利用转换概率实现了土地利用变化的空间分配。例如, 元胞自动机(CA)模型和土地利用变化及其效应模型(CLUE)等也都采用了类似的思路^[11-13]。

近年来, 土地利用变化动态模拟取得了一些进展, 但仍存在一些问题, 例如: 能否模拟动态变化的驱动因子和驱动机制对土地利用变化的影响; 除了要包含决定土地利用/覆被数量变化的驱动因子, 是否包含决定其空间位置变化的驱动因子; 所建模型在结构上是否考虑到

土地系统动态变化的一些特殊性质；所建模型须从系统的角度出发，综合模拟所有用地类型宏观结构的变化。

本文首先介绍了模拟模型在土地利用系统中的发展，列举了各种可用于模拟土地系统动态变化的模型以及国内一些学者对土地系统动态模拟模型的研究，分析了各种模型的优缺点，并提出了改进方案，最后对全文进行总结并指出进一步的研究方向。

2 土地系统模拟模型发展现状

2.1 模拟模型在土地系统中的发展

通过构建模型来研究土地利用的格局及其变化，最早可追溯到 1826 年杜能(J H von Thunen)提出的以地租理论为依据的农业土地利用配置模型，1964 年阿隆索(W Alonso)又提出了以竞租理论为依据的城市土地利用配置模型。这些模型在当前分析土地利用变化时仍有一定借鉴意义，但因其所假设的模型外界条件过于理想化，而且是对土地利用格局的静态描述和解释，因此降低了它们在目前土地系统变化分析中的应用价值^[14]。

近二十年来，在进行土地利用变化驱动力和驱动机制研究时，使用得比较普遍的是简单线性回归和多元线性回归等相关分析模型。这类模型对大致了解不同驱动因子对土地利用变化的影响等研究具有一定的应用价值，能够很好地拟合原始数据所对应的变量空间。但对于研究区域以外，这类模型无法发挥作用。因此，回归模型不能被用作大范围的模拟，只能用作具有校准数据的土地利用变化预测，只能对已有历史数据且土地利用变化强烈的地区进行预测。另一类基于经验统计的方法通过辨识与表征栅格水平上不同来源的影响因子，构建用地结构变化驱动机理模型，模拟土地系统结构变化与格局演变的时空过程。这类模型与方法以 CLUE 及 CLUE-S 系列模型（如图 1 所示）为代表，是近年来发展的一个热点。CLUE 模型框架由 Veldkamp 和 Fresco 于 1996 年、Verburg 等于 1999 年提出，该模型根据经验量化土地利用变化和驱动因子之间的关系^[11,12]。与大部分经验模型比较，它的优势在于能够模拟多种同时发生的土地利用方式变化。随着该模型的进一步完善，它在国家和区域尺度有了很多的应用，主要有中美洲、厄瓜多尔、中国以及印度尼西亚的爪哇^[15-18]。为了适应中小尺度规模地区的土地利用时空动态模拟，CLUE 小组对 CLUE 模型进行了改进，创建了 CLUE-S 模型。CLUE-S 模型由两个主要模块组成，一个是空间模块，

另一个是非空间模块。空间模块又称为统计分析模块，可以用来对研究区域的用地需求问题进行空间上的分配。CLUE-S 模型在土地利用动态变化研究中应用很广，该模型应用的局限性主要在于不能用于没有历史数据的区域。

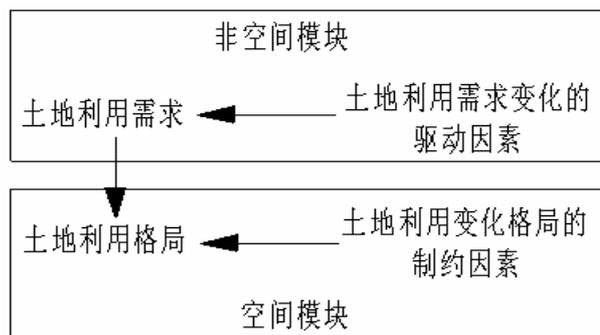


Figure1. CLUE-S model structure
图 1. CLUE-S 模型结构

2.2 国内外研究现状

近年来，研究者陆续提出了一些新的可用于模拟土地系统动态变化的模型，如系统动力学模型、马尔柯夫链模型、神经网络模型、遗传算法模型、基于智能体的模型（Agent-Based Model, ABM）及元胞自动机模型等。这些模型各有长处和局限性。其中，系统动力学模型通过建立驱动因子之间的反馈关系和构建系统动力学方程，可用于土地利用变化的动态仿真，主要缺点是缺乏空间概念；马尔柯夫链模型属于概率模型，可依据 t_1 时刻的状态推测 t_2 时刻的状态，主要局限是必须具备较长时间序列的土地利用变化数据，且这类变化的非线性特点也向该类模型所依据的概率提出了挑战；基于人工智能的神经网络模型和基于生物有机体自然进化规律的遗传算法模型在土地利用动态变化研究中的应用总体上还不是很成熟，目前尚处于探索阶段；用于土地系统变化模拟的 ABM 主要包括描述研究景观的单元模型和描述行为者相互作用的 Agent-based 模型两部分，ABM 通过分析众多低层次的微观个体的土地利用行为，分析、模拟整个土地系统的动态演化模式和规律，尽管 ABM 在理论与实践方面都已经取得了巨大的进展，但在模拟土地系统动态中总体上还不成熟，还有许多问题需要进一步研究；元胞自动机模型可用于描述具有很大自由度的离散系统，通过发掘土地利用空间单元的演变规律，元胞自动机模型可以

实现区域单元网格的动态模拟,在模拟城市土地利用变化和城市增长动态等方面已得到了较广泛的应用,局限性在于,依据专家知识和经验所规定的邻域函数和转换规则,会对模型的模拟结果产生不利影响,此外,元胞的合适空间分辨率的确定也是一个难题。

受国际研究的推动,20世纪90年代以来,我国学者对土地系统动态模拟模型也进行了研究,并且取得了一些有意义的研究成果。如陈佑启等利用多尺度的统计方法建立的多元回归模型,比较研究了不同尺度规模、不同区域类型上中国土地利用的空间分布变化及其影响因素^[19];史培军等利用马尔柯夫模型定量研究了深圳市1980-1994年各种土地利用类型的变化及其空间转化^[20];摆万奇利用系统动力学模型模拟了深圳市1950—2050年的土地利用变化过程及城镇用地呈S型增长趋势,认为1980—2030年是深圳市城镇用地的快速增长阶段,之后基本保持稳定的状态^[21];龙花楼、李秀彬利用修订后的GTR模型,对长江沿线样带未来30年的土地利用变化进行了模拟,研究发现,东部地区的耕地面积将进一步减少,而全区的耕地和建设用地面积将增加^[22];黎夏和叶嘉安设计了ANN-CA模型,并成功地模拟了广东省东莞市城市用地的动态扩展^[23];张显峰、崔伟宏在总结前人研究的基础上,从满足GIS时空分析建模的角度出发,建立了城市土地利用演化过程模拟预测LESP模型(Land use Evolution Simulation and Prediction Model),并对包头市城市增长进行了有效模拟^[24];何春阳、史培军等从宏观外部约束性因素和局部城市单元自身扩展能力变化的角度建立元胞自动机模型对北京地区城市发展过程进行了模拟重建和不同情景预测^[25];赵晶从土地单元自身发展变化能力和外部因素共同影响城市土地格局演变的角度,构建了一个基于CA框架下的土地利用动态演变DLEM模型(Dynamic Land-use Evolution Model)对上海市城市内部四大类用地格局演变进行了模拟^[26];邓祥征在总结前人研究成果的基础上,提出了土地系统动态模拟模型(DLS),DLS着眼于整个土地系统,以区域用地结构变化均衡理论和栅格尺度用地类型分布约束理论为理论依据,以区域土地系统为研究对象,综合考虑驱动区域土地系统结构变化的自然控制因子和社会经济驱动因子,定量地分析它们之间的动态反馈机制,并共同推进土地系统结构变化与格局演替的机理^[3]。

3 存在问题与改进方案

虽然国内外开展的土地系统动态模拟研究已经取得了长足的进步,但相关研究探讨的模型与方法在土地系统变化动态驱动机制分析等方面还有待完善和提高。此外,目前多数可以用于土地系统动态模拟的模型与方法往往只涉及一种或几种用地类型,缺乏对区域土地系统演替格局的整体把握,很少能从精细栅格水平上定量地分析自然、生态、社会经济因子的驱动作用,缺少恰当的区域用地结构情景分析和对土地系统结构变化及演替格局的深入探索。

针对以上所提出的土地系统动态模拟问题,作者认为应从如下几个方面进行改进:

从宏观土地利用结构变化及其驱动因子模拟与情景分析模型上,应综合考虑不同情景下的土地利用生态效益、经济效益和社会效益,结合土地系统的系统性和反馈性,采用可计算一般均衡模型(CGE)建立宏观土地利用结构变化及其驱动因子模拟与情景分析模型,使模型能反映不同情景下土地系统中自然—社会—经济各因子的驱动—反馈关系。

从土地利用变化动态驱动因子空间化方法上,应研究不同类型的土地系统动态变化驱动因子的空间化方法;研究各种自然和社会经济驱动因子之间的关系,借助遗传算法和空间数据挖掘的方法,实现各驱动因子的空间化。

从土地利用变化动态驱动机制研究上,可采用人工神经网络对元胞层次的土地系统动态变化驱动机制进行分析,动态分析不同自然生物因素、经济因素、制度因素和技术因素对土地系统动态变化的影响及其作用机制。

在根据宏观土地利用需求上,结合元胞层次的土地利用变化动态驱动机制,采用元胞自动机模型将宏观土地利用需求分配到具体的栅格单元,从而实现土地系统动态变化的空间分配。

4 总结与展望

根据上节的所列举的改进方案,本文认为未来土地系统动态模拟应该从以下几个方面来进行深入研究:

1) 构建土地系统动态变化驱动因子空间化模型

针对土地系统变化各驱动因子空间化的复杂性,借助遗传算法和空间数据挖掘的方法,在分析不同自然和社会经济驱动因子之间关系的基础上,构建土地系统动态变化驱动因子的空间化模型,便于动态分析元胞层次

土地利用变化驱动机制。

2) 构建元胞层次的土地利用变化动态驱动机制分析模型

针对人地关系的多重性、动态性, 借助人工神经网络, 对元胞层次的土地利用变化驱动机制进行动态分析与研究, 构建元胞层次的土地利用变化动态驱动机制分析模型。

3) 构建基于动态驱动机制的土地系统动态模拟模型

针对土地系统的系统性、反馈性和多目标性, 借助可计算一般均衡模型 (CGE), 构建宏观土地利用结构变化及其驱动因子模拟与情景分析模型, 该模型具有模拟不同情景下宏观土地利用动态变化的能力。综合宏观土地利用结构变化情景分析模型和元胞层次土地利用变化动态驱动机制, 构建基于动态驱动机制的土地系统动态模拟模型, 该模型根据宏观土地利用结构变化情景分析的结果, 结合元胞层次的动态驱动机制, 采用元胞自动机模型将土地利用结构变化落实到元胞空间, 实现土地利用变化的动态模拟。

References (参考文献)

- [1] RINND. Complexity and climate. *Science*, 1999,284:105~106.
- [2] MOOREB III. International Geosphere Biosphere Programme: A study of global change, some reflections. *IGBP News Letter*,2000,40:1~3.
- [3] Deng xiangzheng. Simulation of land system dynamics. China Land Press. 2008.
- [4] Zhuang defang, Deng xiangzheng, Zhan jinyan, Zhao tao. A study on the spatial distribution of land use change in Beijing. *Geographical Research*. 2002. 21. 6: 667~674.
- [5] Liu jiyuan, Liu mingliang, Zhuang defang. Analysis of landscape spatial patterns in recently China land use. *SCIENCE IN CHINA Series D*. 2002, 32, 12: 1031~1040.
- [6] Deng xiangzheng, Liu yansui, Zhao tao. STUDY ON THE LAND-USE CHANGE AND ITS SPATIAL DISTRIBUTION: A CASE STUDY IN ANKANG DISTRICT. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12, 6: 522~528.
- [7] Chen baiming. STUDIES ON LAND USE AND LAND COVER CHANGE IN CHINA AND MAN'S DRIVING FORCE UPON IT. *NATURAL RESOURCES*. 1997, 2: 31~36.
- [8] Li ping, Li xiubing, Liu xuejun. Macro-analysis on the driving forces of the land-use change in China. *Geographical Research*. 2001, 20, 2: 129~138.
- [9] Bai wanqi, Zhao shidong. AN ANALYSIS ON DRIVING FORCE SYSTEM OF LAND USE CHANGES, *Resources Science*, 2001,23, 3: 39~41.
- [10] Wu ye, Yang guishan, Wan rongrong, Chen jianglong. Analysis on the Socioeconomic Driving Forces Differences of Cultivated Land Area Change in Suzhou City. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(2): 75~79.
- [11] Veldkamp A, Fresco L. CLUE-CR: an integrated multiscale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecol. Model*, 1996, 91:231~248.
- [12] Verburg P H, A Veldkamp, G H J de Koning, et al. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modeling*, 1999,116: 45~61.
- [13] Zhou chenghu, Sun zhanli, Xie yichun. Research on Geo-Cellular Automata. Science Press. 1999.
- [14] Ni shaoxiang. Some Issues in the Study on Land Use/Cover Change. *JOURNAL OF NATURAL RESOURCES*. 2005, 20, 6: 932~937.
- [15] Kok K, M Winograd. Modelling land-use change for Central America, with special reference to the impact of hurricane Mitch. *Ecological Modelling*,2002,249:53~69.
- [16] de Koning G H J, P H Verburg, A Veldkamp, et al. Multi-scale modeling of land-use change dynamics for Ecuador. *Agricultural Systems*, 1999,61:77~93.
- [17] Verburg P H, Y Q Chen, A Veldkamp. Spatial explorations of land-use change and grain production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000,82:333~354.
- [18] Verburg P H, A Veldkamp, J Bouma. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. *Global Environmental Change*,1999,9:303~312.
- [19] Cehn youqi, Peter H. Verburg. Multi-scale Spatial Characterization of Land Use/Land Cover in China. *SCIENTIA GEOGRAPHICA SINICA*, 2000, 20, 3, 197~202.
- [20] Shi peijun, Chen jin, Pan yaozhong. Landuse Change Mechanism in Shenzhen City. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA*, 2000, 55, 2: 151~160.
- [21] Bai wanqi. Analysis on land use dynamics of Shenzhen *JOURNAL OF NATURAL RESOURCES*. 2000, 15, 2: 112~116.
- [22] Long hualou, Li xiubing. Land Use Pattern in Transect of the Yangtse River and Its Influential Factors. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56, 4: 417~425.
- [23] Li xia, Ye jia'an. Neural-netwOrk-based Cellular Automata for Realistic and Idealized Urban Simulation. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA*. 2002, 57, 2: 159~166.
- [24] Zhang xianfeng, Cui hongwei Integrating GIS with Cellular Automaton Model to Establish a New Approach for Spatio-temporal Process Simulation and Prediction. *ACTA GEO-DAETICA ET CARTOGRAPHICA SINICA*. 2001, 30(2): 148~155.
- [25] He chunyang, Chen jin, Shi peijun, Yu zhangtao. STUDY ON THE SPATIAL DYNAMIC CITY MODEL BASED ON CA (CELLULAR AUTOMATA)MODEL. *ADVANCE IN EARTH SCIENCES*. 2002, 17(2): 188~195.
- [26] Zhao jing. A simulation of urban land use evolution based on artificial neural network and cellular automata. *JOURNAL OF LANZHOU UNIVERSITY (NATURAL SCIENCES)*. 2006, 42(5):27~31.